TRES ARQUITECTURAS PARA EL NUEVO MILENIO
DEL FIN DEL CARBONO

Hacia una teoría temporal de la sostenibilidad arquitectónica

XEMA GATNAU

Resumen

La arquitectura sostenible no puede decidirse únicamente por los materiales que emplea, sino por la relación entre material, duración, mantenimiento y ciclo de sustitución. Un edificio no es sostenible solo porque utilice materiales naturales, ni deja de serlo automáticamente por utilizar materiales pesados o industriales. Lo decisivo es la coherencia entre el impacto inicial de una construcción y el tiempo durante el cual ese impacto queda justificado.

Este texto propone distinguir tres grandes modelos para la arquitectura futura: la arquitectura renovable o sumidera de carbono, basada en materiales biogénicos, reciclables, compostables o de bajo impacto; la arquitectura ultrapermanente, basada en materiales de gran resistencia y alto coste inicial —como hormigón, piedra, cerámica o acero inoxidable— cuya legitimidad depende de su duración extrema; y la arquitectura estratificada, que combina capas temporales distintas dentro de un mismo edificio: pieles renovables, instalaciones sustituibles y núcleos estructurales de larga duración.

La tesis central es que el tiempo debe convertirse en una categoría fundamental de la sostenibilidad arquitectónica. La arquitectura del futuro no será sostenible solo por ser ligera, ni solo por ser robusta, sino por adecuar correctamente cada material a su duración, su mantenimiento y su destino. Lo insostenible no será necesariamente lo pesado ni lo perecedero, sino aquello que combine alto impacto material con vida corta, obsolescencia rápida y ausencia de responsabilidad temporal.

Palabras clave: arquitectura sostenible, duración, carbono incorporado, arquitectura efímera, materiales biogénicos, hormigón, acero inoxidable, paja, madera, permanencia, estratificación temporal, Return on Environment.

1. Introducción: el tiempo como criterio olvidado

La sostenibilidad arquitectónica suele discutirse a partir de los materiales: madera frente a hormigón, paja frente a acero, tierra frente a materiales industriales, sistemas naturales frente a sistemas de alto impacto. Esta oposición es comprensible, pero incompleta. Ningún material es sostenible de forma absoluta y aislada. Su valor ecológico depende de cómo se obtiene, cómo se transforma, cómo se transporta, cómo se mantiene, cuánto dura y qué ocurre con él cuando deja de servir.

En este texto, el «fin del carbono» no significa, naturalmente, la desaparición del elemento químico, sino el final progresivo de un modelo económico asentado en la extracción, combustión y liberación masiva de carbono fósil. El nuevo milenio del fin del carbono será aquel en que la arquitectura deba responder por la energía y la materia que inmoviliza, pero también por el tiempo durante el cual evita nuevas extracciones, emisiones y reconstrucciones.

El error habitual consiste en separar materia y tiempo. Se juzga un edificio por su impacto inicial, por su apariencia ecológica o por el tipo de material utilizado, pero no siempre se pregunta durante cuánto tiempo ese material justificará su presencia en el mundo. Una arquitectura ligera puede ser irresponsable si se sustituye constantemente. Una arquitectura pesada puede ser razonable si dura siglos. Una arquitectura aparentemente natural puede ser falsa si depende de ciclos de reposición excesivos, transporte lejano o tratamientos contaminantes. Una arquitectura mineral o industrial puede ser defendible si evita demoliciones, reconstrucciones y residuos durante generaciones.

Por eso, la pregunta central no debería ser solo: ¿de qué está hecho un edificio?

¿Qué duración promete, qué coste exige y durante cuánto tiempo ese coste queda justificado?

Este texto propone una teoría temporal de la sostenibilidad arquitectónica. La arquitectura futura deberá elegir entre tres grandes posibilidades: ser renovable y de ciclo corto pero materialmente inocente; ser ultrapermanente y de ciclo larguísimo; o ser estratificada, combinando capas de distinta duración dentro de un mismo sistema constructivo.

2. Primera vía: arquitectura renovable o sumidera de carbono

La primera vía es la arquitectura renovable, biogénica o sumidera de carbono. Se basa en materiales como paja, madera, corcho, cáñamo, fibras vegetales, tierra, cal u otros sistemas de bajo impacto, capaces de almacenar carbono, biodegradarse, reciclarse, compostarse o volver al ciclo material con un daño reducido.

Esta arquitectura no necesita prometer necesariamente mil años. Su legitimidad no depende de la permanencia extrema, sino de la limpieza del ciclo. Si un material crece, absorbe carbono, requiere poca energía de transformación, se desmonta sin gran daño y puede ser reutilizado o devuelto a la tierra, entonces su menor duración puede no ser un defecto. Puede formar parte de una lógica ecológica coherente.

En este modelo, la sustitución periódica no es necesariamente obsolescencia. Una piel de paja, una cubierta vegetal, un cerramiento de madera o una capa de fibras naturales pueden renovarse si su reposición no implica una nueva violencia material significativa. La arquitectura renovable acepta el tiempo breve, pero solo cuando ese tiempo breve está integrado en un ciclo regenerativo.

Su virtud principal es la ligereza material. Su peligro principal es la estética de lo ecológico. No todo lo que parece natural es sostenible. Una construcción de paja o madera puede ser irresponsable si tiene mal diseño, mala protección contra

humedad, vida útil demasiado corta, mantenimiento imposible, tratamientos químicos agresivos o transporte excesivo. La arquitectura renovable solo es legítima si su ciclo completo es honesto.

No basta con parecer biodegradable. Hay que serlo dentro de un sistema material real.

3. Segunda vía: arquitectura ultrapermanente

La segunda vía es la arquitectura ultrapermanente. Parte de una premisa contraria: si se utilizan materiales de alto impacto inicial, esos materiales deben durar muchísimo. Hormigón, piedra, ladrillo, cerámica, acero inoxidable u otros sistemas robustos no deberían emplearse para producir edificios de ciclo corto. Su justificación depende de su duración.

En este modelo, la sostenibilidad no proviene de la ligereza, sino de la amortización temporal. Una estructura de hormigón puede ser ecológicamente obscena si se demuele a los treinta años. Pero puede adquirir otra legitimidad si se proyecta, construye, mantiene y protege para durar doscientos, quinientos o mil años. El problema no es simplemente usar hormigón, acero o materiales minerales. El problema es usarlos para fabricar obsolescencia.

Este criterio se aplica también a piezas auxiliares aparentemente menores —un asador o parrillero, un pequeño pabellón doméstico o una estancia anexa con baño —. Si se levantan con materiales de alto impacto, su carácter secundario no las exime de ser concebidas dentro de un sistema verdaderamente durable.

La arquitectura ultrapermanente propone una regla ética simple:

Cuanto mayor sea el coste ecológico de un material, mayor debe ser la duración exigida.

En sentido inverso al criterio aplicado a la arquitectura renovable, tampoco basta con que una construcción parezca durable. Debe serlo dentro de un sistema material durable: estructura, uniones, protección, reparabilidad y mantenimiento han de formar una continuidad capaz de sostener la promesa temporal del edificio.

3.1. ROE: Return on Environment

La huella ambiental de una arquitectura no debería juzgarse únicamente en el instante de su construcción. Del mismo modo que la economía utiliza el retorno de la inversión para comparar el sacrificio inicial con los rendimientos obtenidos después, puede proponerse un indicador ambiental de largo plazo: el Return on Environment (ROE). Se emplea aquí en un sentido propositivo y no como un estándar ya

normalizado; tampoco debe confundirse con el uso financiero habitual de las mismas siglas para Return on Equity.

El ROE expresa el retorno ambiental acumulado de una decisión material. Una solución puede producir una huella de carbono inicial relativamente elevada y, sin embargo, ofrecer un resultado ambiental superior si durante siglos evita demoliciones, reconstrucciones, sustituciones estructurales, nuevos transportes, consumo adicional de materias primas y generación reiterada de residuos. La inversión ambiental inicial se juzga, por tanto, en relación con las cargas futuras que consigue evitar.

De manera conceptual, el ROE para un horizonte temporal T puede entenderse como la relación entre los beneficios ambientales acumulados —emisiones evitadas, recursos ahorrados, carbono almacenado y reconstrucciones no realizadas— y el conjunto de impactos asumidos —construcción inicial, mantenimiento, sustituciones y fin de vida—.

$$ROE_t = \text{Beneficios ambientales acumulados hasta T} / \text{Impactos ambientales acumulados hasta T}$$

La fórmula no pretende todavía fijar una métrica universal ni borrar las diferencias entre tipos de impacto. Su función es ordenar el razonamiento: obliga a comparar soluciones dentro de un horizonte temporal explícito y a justificar las hipótesis sobre vida útil, mantenimiento y sustitución. Puede utilizarse también en forma marginal, comparando el ROE adicional de una alternativa más robusta respecto de otra de menor duración.

La arquitectura ultrapermanente no busca simplemente reducir al mínimo la contaminación del día de la obra. Busca minimizar la huella acumulada a largo plazo y maximizar el ROE. Esto puede justificar una mayor inversión material inicial cuando esa inversión impide que la misma función deba reconstruirse repetidamente. La duración deja así de ser una cualidad ornamental y pasa a funcionar como rendimiento ambiental.

Un edificio pesado debe tener vocación de herencia. Debe poder ser reparado, mantenido, transmitido y usado por generaciones que no participaron en su construcción. Debe estar pensado para envejecer, no para ser sustituido. Su valor no consiste en cambiar continuamente, sino en permanecer con suficiente dignidad como para que su mantenimiento tenga sentido.

Esta vía no defiende cualquier rigidez. Una arquitectura permanente puede fracasar si se vuelve inútil, hermética, excesivamente específica o incapaz de ser cuidada. La permanencia no se consigue solo con masa. Requiere forma, programa,

mantenimiento, custodia jurídica y necesidad social. Un edificio puede ser robusto y, aun así, no merecer durar.

La arquitectura ultrapermanente solo se justifica si su duración es material, funcional, simbólica e institucional.

4. Tercera vía: arquitectura estratificada

La tercera vía es la arquitectura estratificada. No elige de forma absoluta entre lo renovable y lo permanente, sino que organiza el edificio en capas temporales distintas. Reconoce que no todos los elementos de una construcción deben durar lo mismo. Una piel puede durar pocos años; una instalación, unas décadas; un cerramiento, varias generaciones; una estructura, siglos.

La arquitectura estratificada combina materiales de ciclo breve con núcleos de larga duración. Puede tener una piel exterior de paja, madera o fibras vegetales, renovable y compostable; instalaciones accesibles y sustituibles; cerramientos reparables; y una estructura principal de hormigón, piedra, cerámica o acero inoxidable destinada a durar siglos.

La piel exterior no tiene por qué ser materialmente pura ni estar compuesta exclusivamente por fibras vegetales. Puede incorporar una epidermis plástica: membranas, láminas o componentes poliméricos seleccionados para proteger las capas inferiores de paja o madera frente a la humedad, la radiación, el viento o el desgaste. La presencia de plástico no invalida por sí sola la lógica del sistema si su cantidad, durabilidad, reparabilidad y destino final están justificados y si prolonga de forma sustancial la vida útil de las capas biogénicas que protege.

Este modelo evita dos errores opuestos. El primero es creer que todo debe ser biodegradable y temporal. El segundo es creer que todo debe ser pesado y eterno. La arquitectura responsable no exige la misma duración a todos sus componentes. Exige que cada capa conozca su tiempo, su función, su mantenimiento y su destino material.

Una piel de paja no fracasa por durar poco si su función es proteger, sombrear, aislar o señalar durante un ciclo breve y luego volver al ciclo material. Una estructura de hormigón sí fracasa si dura poco, porque su coste material exige una promesa temporal mayor. Una instalación técnica no necesita durar mil años, pero debe poder ser sustituida sin destruir el edificio. Una puerta, una junta, una cubierta o una piel pueden renovarse; el núcleo estructural debe ordenar esas renovaciones.

La arquitectura estratificada se asemeja más a un organismo que a un objeto homogéneo. El núcleo resistente actúa como un esqueleto: sólido, profundo y destinado a permanecer. Las capas exteriores actúan como la piel o la epidermis: más ligeras, caducas, renovables y sensibles a las variaciones del entorno. Como

ocurre en un cuerpo, la mayor permanencia se concentra en el interior, mientras la superficie se repara, se sustituye y se adapta sin destruir la continuidad del conjunto.

Esta analogía no es solo retórica. Implica separar físicamente las capas, permitir ventilación y secado, hacer accesibles las uniones y evitar que la renovación de un revestimiento alcance al núcleo estructural. Una arquitectura temporalmente jerarquizada debe impedir que el envejecimiento de la epidermis se convierta en una patología del esqueleto.

La arquitectura estratificada es, en este sentido, una arquitectura de jerarquías temporales.

Su pregunta no es: ¿qué material es bueno?

¿Qué duración corresponde a cada material?

5. El peor escenario: alto impacto y vida corta

Lo más insostenible no es necesariamente lo pesado. Tampoco lo es necesariamente lo efímero. Lo más insostenible es la combinación entre alto impacto y corta duración.

Ese es el punto crítico de buena parte de la arquitectura contemporánea de evento: pabellones, stands, ferias, instalaciones, montajes institucionales, escenografías culturales, bienales, festivales y dispositivos fotogénicos que utilizan materiales complejos, transporte, embalaje, iluminación, climatización, montaje especializado y desmontaje para desaparecer poco después.

Esa arquitectura no pertenece ni a la lógica renovable ni a la lógica permanente. No es suficientemente inocente para durar poco ni suficientemente duradera para justificar su impacto. Es el peor híbrido: coste alto, vida breve, residuo rápido y justificación estética.

Nace ya como residuo diferido.

La arquitectura efímera solo se justifica en dos casos: cuando es materialmente casi inocente o cuando fracasa como efímera, es decir, cuando demuestra que merecía permanecer. Si no cumple ninguna de esas condiciones, su temporalidad no es virtud, sino despilfarro.

6. Una matriz temporal de sostenibilidad

La sostenibilidad arquitectónica debería evaluarse mediante una matriz temporal. No basta con clasificar materiales como buenos o malos. Hay que analizar su comportamiento en el tiempo.

Una matriz seria debería considerar:

- impacto inicial;
- carbono incorporado;
- capacidad de almacenar carbono;
- duración prevista;
- frecuencia de sustitución;
- reparabilidad;
- mantenimiento;
- posibilidad de desmontaje;
- destino final del material;
- necesidad social persistente;
- capacidad de adaptación limitada;
- custodia institucional;
- resistencia climática;
- capacidad de evitar futuras demoliciones y reconstrucciones;
- ROE esperado para distintos horizontes temporales.

Según esta matriz, un edificio de paja puede ser superior a uno de hormigón si su ciclo es limpio, local, renovable y materialmente honesto. Pero un edificio de hormigón puede ser superior a uno de paja si dura muchos siglos, evita múltiples reconstrucciones y mantiene una función relevante. Y una arquitectura estratificada puede ser superior a ambas si combina pieles renovables con núcleos permanentes.

La sostenibilidad no es una propiedad estética. Es una relación temporal.

7. La paradoja del futuro climático

El cambio climático introduce una dificultad adicional. Puede que el futuro no premie la permanencia rígida, sino la adaptabilidad continua. En un mundo de temperaturas extremas, migraciones, escasez, inundaciones, incendios, transformaciones de uso y crisis energéticas, quizá solo sobrevivan las arquitecturas capaces de cambiar constantemente.

Pero esta posibilidad no debe celebrarse demasiado rápido. Si solo lo adaptable puede sobrevivir, quizá no estemos ante el triunfo de la adaptabilidad, sino ante la derrota de la permanencia. Quizá no sea que los edificios duraderos se hayan equivocado, sino que la humanidad haya producido un mundo donde la promesa de duración se vuelve inviable.

Si lo permanente no ha lugar, es que nada tiene garantía de permanencia. Ni siquiera los seres humanos.

La permanencia nunca ha sido una certeza absoluta, sino una aspiración racional. Ninguna obra humana puede prometer eternidad, del mismo modo que tampoco pueden hacerlo quienes la construyen, la civilización que la custodia o la especie humana. Precisamente porque nada posee garantía de permanencia, aspirar a la

máxima duración posible no es una promesa metafísica, sino una estrategia frente al deterioro y el desperdicio.

Durante siglos, muchas arquitecturas rígidas y poco adaptables han permanecido. Templos, puentes, murallas, acueductos, monasterios, catedrales, casas de piedra y ciudades enteras han atravesado cambios políticos, religiosos, económicos y técnicos. No sobrevivieron porque fueran infinitamente flexibles, sino porque su forma, su materia, su uso o su valor justificaban su cuidado.

Si ahora ya no podemos prometer duración, la pregunta no es solo arquitectónica. Es civilizatoria.

¿Qué hemos hecho para que la arquitectura ya no pueda aspirar a permanecer?

8. Conclusión: tres futuros materiales

La arquitectura futura no puede limitarse a elegir materiales verdes. Debe elegir regímenes temporales. Puede ser renovable y sumidera si acepta ciclos breves pero materialmente honestos. Puede ser ultrapermanente si convierte la duración extrema en justificación del impacto inicial. O puede ser estratificada si organiza racionalmente capas de distinta duración dentro de una misma obra, adapta cada una a su función y permite que el conjunto responda a un entorno cambiante sin comprometer innecesariamente la permanencia del núcleo estructural.

Lo que no puede seguir siendo es materialmente costosa y temporalmente frívola.

La arquitectura de paja, madera o fibras vegetales solo se justifica si su ciclo ecológico es real. La arquitectura de hormigón, acero inoxidable, piedra o cerámica solo se justifica si aspira a durar. La arquitectura estratificada solo se justifica si cada capa conoce su tiempo.

El futuro sostenible no será simplemente de madera, paja, hormigón o acero. Será de arquitecturas capaces de responder por su duración.

Porque el tiempo no es un dato externo a la sostenibilidad.

El tiempo es su prueba.